

MOSFET 선량계 특성분석을 위한 팬텀 개발 및 특성 비교

*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †분당서울대학교병원 방사선종양학과,
‡건국대학교 의학전문대학원 방사선종양학교실, §국립암센터 방사선종양학과,
||아주대학교병원 방사선종양학과

정진범*† · 이정우*‡ · 김연래 † · 이두현*§ · 최경식|| · 김재성 † · 김인아 † · 홍세미 † · 서태석*

본 연구는 MOSFET (Metal Oxide Semiconductors Field Effect Transistors) 선량계의 교정과 특성분석을 위해서, 자체 팬텀을 개발하고 이 팬텀을 적용하여 표준감도와 고감도 두 종류의 MOSFET 선량계의 특성을 비교 평가하는 것이다. 본 연구에서 개발한 팬텀은 직경 10 cm의 반구형 모양인 팬텀과 1 cm 두께 30×30 cm²의 평판형의 팬텀으로 아크릴로 제작되었다. 평판형 팬텀은 MOSFET 선량계의 교정과 선량재현성, 선량직선성, 선량률 의존성을 측정하는데 사용하였으며 반구형 팬텀은 빔 입사각도 및 선량계 방향에 대한 MOSFET 선량계 특성을 분석하기 위해서 사용하였다. 모든 측정과정은 선형가속기(CL21EX, Varian, USA)의 6 MV 광자선, SSD 100 cm, 조사면 10×10 cm²에서 수행하였다. 선량계 교정과 선량재현성 평가에 사용된 5개의 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계에 각각 200 cGy로 5번 반복 조사하여 1.09±0.01~1.12±0.02, 2.81±0.03~2.85±0.04 mV/cGy 범위의 평균 교정계수가 결정되었고 선량재현성은 두 선량계 모두 2% 이내로 거의 동일하였다. 5~600 cGy 범위에서의 선량직선성은 두 MOSFET 선량계 모두 결정계수 R²=0.997, 0.999인 좋은 선량직선성을 나타내었다. 200 cGy로 100~600 MU/min 범위의 선량률 의존성도 1% 이내로 두 선량계가 동일하게 나타났다. 그러나 빔 입사각도와 선량계 방향의 의존성 평가에서, 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계는 평균적으로 빔 입사각도에 대해 13%, 10%의 변동폭과 ±4.4%와 ±2.1%의 표준편차가 있었으며, 선량계 방향에 대해 5%, 2%의 변동폭, ±2.1%와 ±1.5%의 표준편차로 두 선량계 간 현저한 차이를 나타냈다. 그러므로 여러 방향의 치료빔을 사용하는 방사선 치료의 선량검증을 위해서는 빔 입사각도와 선량계 방향의 의존성이 적은 고감도 MOSFET 선량계를 사용하는 것이 표준감도 MOSFET 선량계를 사용하는 것보다는 더 정확한 선량검증을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: MOSFET 선량계, 선량 특성, 생체내 선량측정

서 론

방사선치료분야에서, 선량 측정을 위해서 이온전리함, 필름, 열형광선량계(TLD)를 주로 사용하고 있다. 특히 이온전리함의 경우는 절대 선량을 측정하기 위해서 가장 이상적인 선량계라고 할 수 있다. 그러나 선량분포의 변화가 큰 영역에 대해서 한 지점에서만 측정할 수 있는 이온전리함의 경우 전리함 체적에 따라 정확한 측정지점을 결정하기에 어려움이 있으며 생체내(in vivo) 선량계로 사용할 수 없

는 단점이 있다. 필름의 경우는 방사선 선량에 대해 에너지 의존성과 비선형적인 반응 때문에 2차원 선량분포를 측정할 수 있는 상대 선량 측정에만 사용되고 선량결과를 얻기 위해서는 후처리 과정과 필름 교정 과정이 필요하다는 단점이 있다. 필름 또한 생체내 선량 측정에 사용할 수 없다. TLD는 생체내 선량 측정에 사용할 수 있지만 다른 선량계에 비해 불확도가 크며 필름과 같이 복잡한 교정과정과 후처리 과정이 필요하다. 또한 필름과 TLD는 선량 측정 후 결과를 바로 얻을 수 없는 단점이 있다. MOSFET 선량계는 앞서 언급한 선량계에 비해 여러 가지 장점을 보유하고 있다. 먼저 선량측정 결과를 실시간으로 확인 할 수 있으며 급격히 변화하는 선량분포에서도 측정할 수 있는 작은 크기(~0.04 mm²)의 공간분해능을 가지고 있다. 그리고 여러 개를 동시에 사용하여 한 측정위치가 아닌 여러 관심 측정영역에서 측정할 수 있도록 구성할 수도 있다. 또한 빠른 측정반응(fast dosimeter response)을 나타내며, 조직 등가물질로 구성되어 있다는 것이 큰 장점이다. 하지만 축적선량

본 논문은 서울시과제 첨단 의료영상기술 개발 혁신클러스터 사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

이 논문은 2006년 12월 19일 접수하여 2007년 3월 2일 채택되었음.

책임저자: 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)590-2414, Fax: 02)532-1779

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

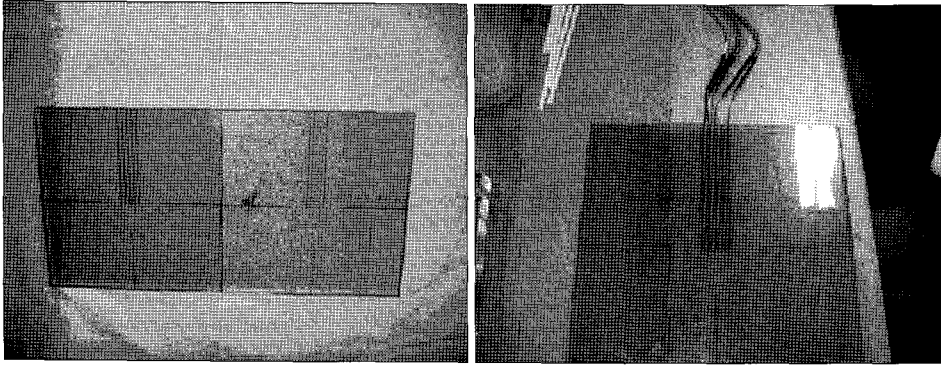


Fig. 1. The slab phantom for calibration, linearity, reproducibility and dose rate dependence of the MOSFETs.

에 대한 방사선손상 때문에 제한된 선량계 수명이 있다는 것이 단점이다.^{1,2)}

이러한 MOSFET 선량계는 선량 검증하기 위해 1974년 산업분야에서 먼저 사용하게 되었으며 최근에 Computed Tomography, 엑스선 유방조영법 등 방사선 진단뿐만 아니라 방사선치료 및 방사선 면역치료 분야 등 여러 분야에서 적용되고 있다.³⁻⁷⁾

방사선 치료분야에서 사용할 수 있는 MOSFET 선량계로는 검출기 크기와 방사선의 반응 민감도에 따라 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계로 구분되는데, 본 연구에서는 이 두 MOSFET 선량계의 방사선학적 특성을 분석할 수 있는 팬텀을 개발하고 교정계수, 선량재현성, 선량직선성, 선량률, 빔 입사각도 및 방향 의존성 등에 대한 선량계 특성을 비교 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. MOSFET 선량계

MOSFET 선량계는 선량 측정 영역에 따라 고감도 방식 (high sensitivity)과 표준감도 방식(standard sensitivity)이 있다. 고감도 방식의 MOSFET는 일반적으로 유방촬영술 및 전산화단층촬영에 대한 체표면 선량 측정과 누설선량 모니터링 등 진단분야에 사용되며 표준설정방식의 MOSFET은 고에너지 영역인 방사선치료분야에 사용된다. 본 연구에서는 Thomson & Nielson (Ottawa, Canada)사 제작의 표준설정 방식 MOSFET 선량계인 표준감도(모델: TN-502-RD)와 고감도(모델: TN-502-RDM)의 두 종류 MOSFET 선량계와 판독기를 이용하였다. 표준감도 MOSFET 선량계는 $3 \times 3 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 의 크기로 구성되어 있으며 $0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2$ 의 실제 검출면적과 μm 단위의 검출두께를 지니고 있다. 그리고 고감도 MOSFET 선량계는 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ 면적에 3.5 mm 길이의 작

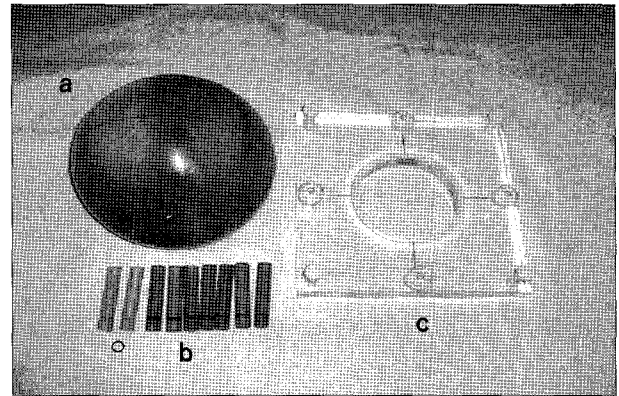


Fig. 2. The semi-sphere phantom (a), cylinder holder (b), and phantom support (c) for the characteristics analysis of the MOSFETs.

은 실리콘 칩으로 구성되어 있으며 $0.5 \mu\text{m}$ 검출두께로 되어 있다.⁸⁾ MOSFET 선량계의 측정원리에 대해서는 Ramasehan 등^{9,10)}에 소개되었다.

2. 팬텀 개발

두 MOSFET 선량계의 교정(calibration)과 특성 분석을 위해 팬텀을 제작하였다. 이 팬텀은 MOSFET 선량계 교정용 팬텀과 선량계의 선량재현성, 선량직선성, 선량률과 빔 입사각도 및 선량계 의존도 등 선량계의 특성을 분석하기 위한 분석용 팬텀으로 구성하였으며 아크릴 재질($\rho=1.14 \text{ g/cm}^3$)을 사용하여 제작하였다. Fig. 1은 선량계 교정용 팬텀으로 1 cm 두께의 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 평판형 모양으로 제작하였으며 MOSFET 선량계 형태에 맞게 삽입하여 고정시킬 수 있도록 깊이 2 mm의 구멍을 내었다. 평판형 팬텀 윗면에는 조사면 정렬을 쉽고 정확하게 수행할 수 있도록 팬텀 중심을 기준으로 하여 십자가선을 새겨 넣었다. Fig. 2는 특성

분석용 팬텀으로 빔 입사각도 및 방향 의존성과 깊이 변화에 따라 선량을 측정할 수 있는 반구형태의 팬텀으로 이 팬텀을 지탱해주는 지지대, 선량계를 고정시켜주는 원기둥 형태의 고감도 및 표준감도 선량계 홀더로 구성하였다. 반구형 팬텀 내에는 직경 2 cm의 4개 원형 구멍을 내어 MOSFET 선량계를 고정시켜주는 원기둥 홀더를 삽입할 수 있도록 하였고 각도의 변화를 유도할 수 있도록 원형 구멍 테두리에 15° 간격으로 각도 눈금을 기입하였다. 그리고 팬텀에 세로와 가로선을 기입하여 정확한 셋업 상태를 유지하면서 실험을 수행할 수 있도록 하였다. 사각형 모양의 팬텀 지지대 모서리와 가장자리에는 4개의 수평 조절 나사와 수평계가 있어 선량측정 시 정확한 수평을 유지할 수 있도록 하였다. 직경 15 mm의 원기둥 형태의 선량계 홀더에는 원기둥 홀더 중심부위에 2 mm 구멍과 홀더 테두리에 고무 줄 마킹이 있어 MOSFET 선량계를 삽입하여 고정할 수 있도록 제작되었으며 이 홀더 가장자리에도 정확한 각도 조절을 위해 15° 간격의 각도 눈금을 기입하였다.

3. MOSFET 선량계 교정과 특성분석 실험

특성분석에 앞서 먼저 두 종류의 MOSFET 선량계에 대해 교정과정을 수행하였다. 각각의 고감도와 표준감도 MOSFET 선량계 5개씩 교정용 팬텀 홀에 삽입하여 고정시키고 의료용선형가속기(CL21EX, Varian, USA)의 6 MV 광자선, SSD 100 cm, 조사면 10×10 cm², 최대선량 깊이 (d_{max}) 1.5 cm, 선량률 300 MU/min로 200 cGy를 5번씩 MOSFET 선량계의 에폭시(epoxy) 층에 대해 수직으로 선량을 전달하여 각각의 MOSFET 평균 교정계수를 결정하였다. 이 교정계수를 판독시스템 소프트웨어에 입력하고 선량재현성, 선량직선성, 선량률, 빔 입사각도, 방향, 깊이 의존성에 대한 두 종류의 MOSFET 선량계 특성분석 실험을 Fig. 3처럼 제작한 특성분석용 팬텀을 가지고 수행하였다. MOSFET 선량계 형태는 에폭시 층이 있는 오목한 부분과 폴리아미드(polyamide)의 평평한 면으로 구성되어 있는데 두 면 사이에는 0.1~1 μm의 검출부와 실리콘 반도체로 (silicon substrate) 이루어진 금속 게이트로 분리된 적층형태로 되어 있다. 이러한 MOSFET 선량계의 형태에 대해 조사면(5×5, 10×10, 15×15, 20×20 cm²) 크기와 측정면의 변화에 따른 방사선 민감도 평가는 재현성 평가시 수행하였다. 선량재현성 평가는, 선량계 교정과과정과 동일한 선량률 300 MU/min 조건으로 200 cGy를 5번씩 조사하여 수행되었다. 선량직선성 평가는 동일한 선량률 조건에서 5에서 600 cGy까지 선량을 조사하여 수행하였다. 그리고 깊이 변화에

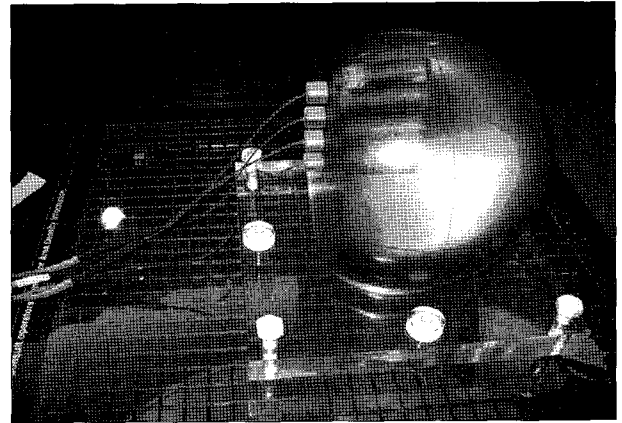


Fig. 3. The semi-sphere phantom for analysing the angular and directional dependence of MOSFETs.

따라 두 MOSFET 선량계에서 측정되는 선량차이평가는 두 종류의 MOSFET 선량계를 엑포시 방향으로 위치시킨 선량계 홀더를 반구형 팬텀의 4개 측정 깊이(4, 6, 8, 10 cm) 삽입하여 측정하였다. 빔 입사각도에 따른 MOSFET 선량계 의존도 측정은 측정부위인 엑포시 층의 왼쪽 측면(갠트리: 90°)에서 오른쪽 측면(갠트리: 270°)까지로 반구형 팬텀의 중심축에서 MOSFET 선량계를 고정시키고 갠트리 15° 간격으로 회전시키면서 측정하였다. 또한 빔 입사방향에 대한 의존도 평가에서는 선형가속기 테이블로 갠트리 회전시켜 측정하였다. 빔 입사각도와 선량계 방향에 대한 측정은 3번씩 반복하여 수행하였고 평균으로 MOSFET의 빔 입사각도와 선량계 방향 의존성을 평가하였다.

결 과

표준감도와 고감도 MOSFET 선량계에 대해 5번씩 측정 한 5개 선량계 평균 교정계수(CF)는 Table 1처럼 1.09±0.01~1.12±0.02, 2.81±0.03~2.85±0.04 mV/cGy와 표준편차는 0.9~1.8%와 0.7~1.4%의 범위로 나타났다. 그리고 고감도 MOSFET 선량계는 표준감도 MOSFET 선량계보다 약 3배 정도의 높은 감도를 갖는 것으로 나타났으며 두 MOSFET 선량계 모두 2% 내에서 선량재현성을 나타냈다. 그러나 고감도 MOSFET 선량계가 표준감도 MOSFET 선량계 보다 더 좋은 선량재현성을 보였다. 두 MOSFET 선량계의 선량조사면과 조사면 크기 변화에 따른 반응의 결과는 Fig. 4에 나타났다. 측정된 모든 조사면에서 표준편차 1% 이내의 오차를 나타내고 있었고 에폭시 층의 동근면이 폴리아미드의 평평한 면보다 더 큰 반응값을 나타내었다. 이 결과는

Table 1. Calibration factor (CF) of standard MOSFET and microMOSFET for the delivery of 200 cGy, 100 cm SSD and 10×10 cm² field size at 6 MV. For MOSFET calibration, five measurements were performed and the results were averaged.

		A		B		C		D		E		
	No.	Dose [cGy]	Read [mV]	CF	Read	CF	Read	CF	Read	CF	Read	CF
Standard MOSFET	1	200	224	1.12	222	1.11	216	1.08	223	1.12	224	1.12
	2	200	218	1.09	219	1.10	219	1.10	216	1.08	219	1.10
	3	200	216	1.08	225	1.13	213	1.07	218	1.09	218	1.09
	4	200	219	1.10	220	1.10	218	1.09	220	1.10	221	1.11
	5	200	222	1.11	217	1.09	219	1.10	218	1.09	216	1.08
Average CF [mV/cGy]		1.10±0.02		1.11±0.02		1.09±0.01		1.10±0.01		1.10±0.01		
		A		B		C		D		E		
	No.	Dose [cGy]	Read [mV]	CF	Read	CF	Read	CF	Read	CF	Read	CF
Micro-MOSFET	1	200	568	2.84	553	2.77	569	2.85	566	2.83	565	2.83
	2	200	562	2.81	560	2.8	559	2.8	574	2.87	564	2.82
	3	200	570	2.85	573	2.85	576	2.88	572	2.86	564	2.82
	4	200	570	2.85	565	2.83	570	2.85	563	2.82	550	2.75
	5	200	564	2.82	567	2.84	572	2.86	570	2.85	566	2.83
Average CF [mV/cGy]		2.83±0.02		2.82±0.03		2.85±0.03		2.85±0.04		2.81±0.03		

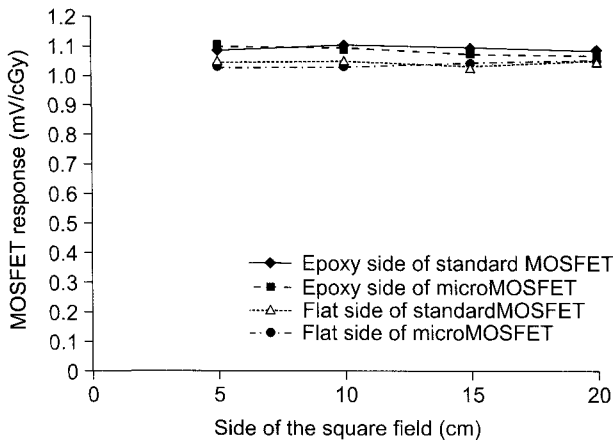


Fig. 4. Effect of field size variation on standard MOSFET and microMOSFET calibration factor.

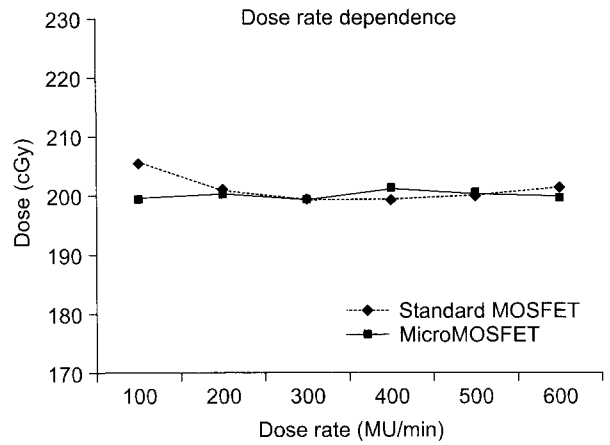


Fig. 5. Dose rate dependence of MOSFET for dose rate ranging from 100 to 600 MU/min for 100 cm SSD and 10×10 cm² field size at 6 MV X-ray.

MOSFET 선량계의 검출부 상단을 감싸고 있는 에폭시(< 두께 1 mm) 층보다 검출면적 하단부분인 폴리아미드(두께 0.2 mm)와 실리콘 금속 게이트(두께 0.1 mm) 영역에서 조

사된 방사선을 더 많이 차폐되기 때문이다.

Fig. 5은 선량률 변화에 따른 두 MOSFET 반응 결과이다. 100 MU/min씩 선량률을 증가하여 600 MU/min까지 측정한

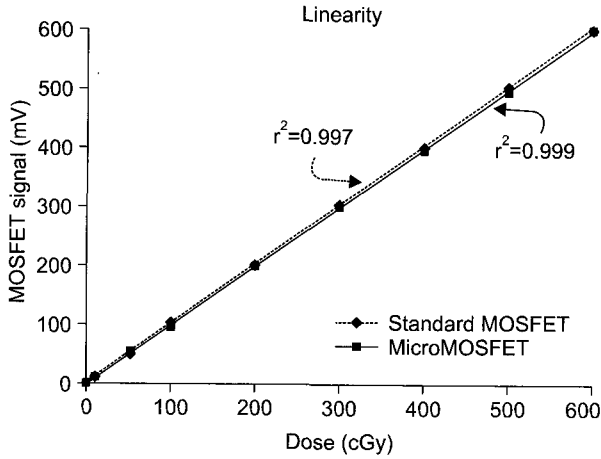


Fig. 6. Linearity response of MOSFET for doses ranging from 10 to 600 cGy, for 100 cm SSD and 10×10 cm² field size at 6 MV X-ray.

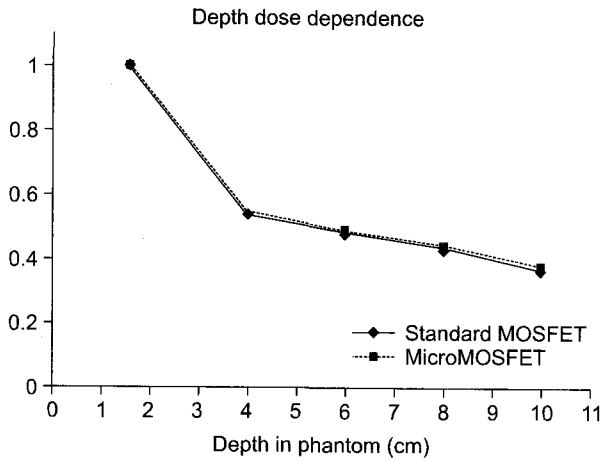


Fig. 7. Comparisons of depth dose measurements using two MOSFETs for 100 cm SSD and 10×10 cm² field size at 6 MV X-ray.

두 MOSFET선량계는 모두 표준편차가 1% 이내의 선량률 의존성을 나타내고 있지만 표준감도 MOSFET 선량계의 경우는 선량률 교정조건 이하인 100 MU/min에서는 2.5% 이상의 좋지 못한 의존성을 나타내었다. 반면, 고감도 MOSFET의 경우는 선량률 변화에 대해 일정한 의존성을 나타내고 있었다. 또한 6 MV 광자선의 300 MU/min의 선량률에서 5~600 cGy까지의 선량에 대해 두 MOSFET의 선량직선성을 Fig. 6에 나타내었고 두 선량계 모두 결정계수 $R^2 = 0.997, 0.999$ 로 선형적인 증가 반응을 나타내었다.

표준감도와 고감도 MOSFET 선량계의 깊이변화에 따른 측정결과는 최대선량 깊이 1.5 cm에서 정량화하여 Fig. 7에

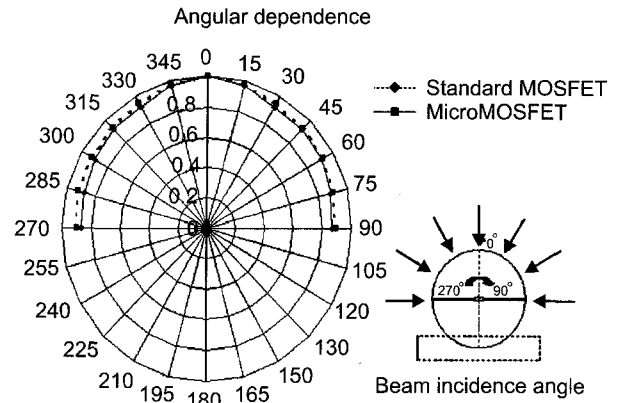


Fig. 8. Angular dependency of standard MOSFET and micro-MOSFET. Angular dependency of MOSFET measured in the angle between 90° and 270° at a 6 MV photon beam aligned the gantry axis of rotation.

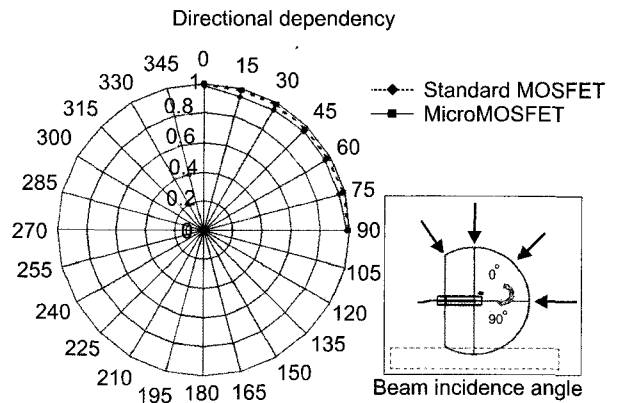


Fig. 9. Directional dependency of standard MOSFET and microMOSFET. Directional dependency of MOSFET measured in the angle between 0° and 90° at a 6 MV photon beam aligned the gantry axis of rotation and 90° couch rotation.

나타내었다. 이 측정은 깊이 변화에 따라 두 종류 MOSFET 선량계의 반응변화를 평가하기 위한 것으로 깊이 4, 6, 8, 10 cm의 4개의 측정지점에서 두 선량계 거의 동일한 반응 결과를 얻었다.

각빔 입사각도와 입사방향의 의존도를 평가하기 위해서 구형 팬텀 중심에 MOSFET 선량계를 위치시키고 측정한 결과를 Fig. 8과 9에 나타냈다. 빔 입사각도의 의존도 측정은 선형가속기 치료테이블 0°에 갠트리 회전축에 따라 갠트리 15°씩 회전시키면서 50 cGy를 조사하여 MOSFET 선량계의 반응을 나타낸 것으로 회전에 따라 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계는 35.45~40.91 cGy와 36.45~40.80 cGy가

측정되었고 선량계 평균값은 37.55 ± 1.66 cGy, 38.22 ± 0.82 cGy로 나타났다. 표준감도 MOSFET 최고의 반응을 나타내는 갠트리 0°를 기준으로 하여 입사각도에 따라 표준감도 MOSFET과 고감도 MOSFET 선량계는 최고 13%, 10%의 변동폭을 나타내고 있었다. 빔 입사방향에 대해서 MOSFET 선량계 측정값 의존도는 선형가속기 치료테이블 90°인 상태에서 갠트리를 0~90°까지 15°씩 회전시켜 측정한 결과이다. 여기에서도 각각의 MOSFET 선량계의 평균값은 39.13 ± 1.04 cGy, 40.65 ± 0.61 cGy로 나타났다. 입사각도와 마찬가지로 빔 입사방향의 변화의 최대 반응을 나타내는 고감도 MOSFET 갠트리 90°에서의 반응값을 기준으로 하여 표준감도 MOSFET과 고감도 MOSFET 선량계는 5%와 3%의 변동폭을 나타내고 있었다. 이러한 MOSFET 선량계의 변동폭은 빔 입사각도와 방향에 따라 검출부에 도포된 엑포시 층 모양의 변화에 의해서 발생되며, 엑포시 층이 더 작은 고감도 MOSFET 선량계의 경우, 빔 입사각도와 방향에서 더 작은 변동폭을 나타내고 있었다.

고 찰

MOSFET 선량계는 방사선치료분야에서 생체내 선량측정과 3차원 방사선치료 및 세기변조 방사선치료의 선량검증을 위해 사용의 용이성과 실시간 검증이 가능하여 많이 사용되고 있다. 그 적용 예로 Ramaseshan 등⁹⁾은 표준 감도 MOSFET을 사용하여 환자 선량 검증을 위한 임상적인 이용에 대해 보고하였으며, Quach 등¹¹⁾은 흉부 팬텀을 이용하여 6 MV 빔에서 표면선량을 측정하여 보고하였다. Cho 등¹²⁾은 체표면 선량을 측정함으로써 방사선치료계획의 검증을 수행할 수 있는 체표면 선량측정법을 제시하였으며 Chuang 등¹³⁾은 IMRT 선량검증을 위한 적용에 대해 보고하였다. 최근에는 고감도 MOSFET 선량계가 개발되면서 임상적용에 관심이 높아지고 있다.¹⁰⁾

본 연구에서는 자체개발한 팬텀을 적용하여 두 종류 MOSFET 선량계의 임상적용을 위한 방사선학적 특성을 분석하였는데 MOSFET 선량계의 교정계수와 선량재현성은 두 선량계 모두 표준편차 1% 이내로 일정한 반응으로 나타났다. 이러한 결과는 기존에 생체내 선량측정으로 많이 사용되었던 열형광선량계(TLD)에 비해 탁월한 성능을 나타내고 있었다.¹⁾ 선량직선성, 깊이 변화, 선량률 의존성 평가에서도 두 선량계가 거의 동일한 결과를 나타내고 있었지만 표준감도 MOSFET 선량계는 교정조건 이하인 선량률에서 2.5% 이상의 의존성을 나타내고 있었다(Fig. 5, 6). 또

한 5~600 cGy까지 두 MOSFET 선량계는 선량직선성을 나타내고 있었으며 이것은 XV 필름보다는 더 큰 에너지 영역에서 EDR2 필름(Kodak)과는 거의 동일한 에너지영역에서 선량직선성을 지니고 있었다. 그러나 빔 입사 각도와 선량계 방향에 대한 선량계의 반응은 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계에 따라 비교적 서로 큰 차이가 있었다. 빔 입사 각도에 변화에 따라 표준감도 MOSFET 선량계는 13% 변동폭과 4.4% 표준편차의 반응변화가 있는 반면 고감도 MOSFET 선량계는 10% 변동폭, 2.1% 표준편차로 표준감도 MOSFET 선량계가 빔 입사각도에 따라 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며 선량계 방향 변화에 대해서도 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계는 5% 변동폭과 2.1% 표준편차, 2% 변동폭, 1.5% 표준편차로 표준감도 MOSFET 선량계가 방향에 대해서도 더 큰 영향을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 8, 9). 이러한 결과는 MOSFET 선량계의 검출영역 크기가 선량 검증과정에 빔 입사각도와 빔 입사방향에 큰 영향을 미친다는 것을 보여준다.

결 론

본 연구에서는 표준감도와 고감도 MOSFET 선량계의 특성을 비교평가할 수 있는 팬텀을 개발하였고 이 팬텀을 사용하여 MOSFET 선량계의 선량직선성, 깊이 변화, 선량률 의존성 평가를 통해 표준감도와 고감도 MOSFET의 두 선량계가 거의 동일한 결과를 나타내고 있다는 것을 확인하였다. 하지만 빔 입사각도와 선량계 방향에 대한 의존성에 대해서는 표준감도 MOSFET 선량계의 경우 고감도 MOSFET 선량계보다 더 큰 의존성을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 다방향의 빔을 사용하는 3차원 방사선치료 및 IMRT의 선량검증에는 빔 입사각도와 선량계 방향에 의존성이 적은 고감도 MOSFET 선량계의 사용이 선량검증의 오차를 줄이고 더 정확한 선량검증을 할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Chuang, C, Verhey L, Xia P: Investigation of the use of MOSFET for clinical IMRT dosimetric verification. *Med Phys* 29:1109-1115 (2002)
2. Yeo IJ, Kim JO: *A Procedural Guided to Film Dosimetry with Emphasis on IMRT*. Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin (2004)
3. Brauer-Krish E, Bravin A, Lerch M, et al: MOSFET

- dosimetry for microbeam radiation therapy at the European Synchrotron Radiation Facility. *Med Phys* 30:583-589 (2003)
4. August L: Design criteria for high dose MOS dosimeter for use in space. *IEEE Trans Nucl Sci* 31: 801-803 (1984)
 5. Cygler J, Saoudi A, Wilkins D, et al: Use of MOSFET detectors for in vivo dosimetry during permanent low-dose-rate prostate implants. *Med Phys* 28:1180 (2001)
 6. Cho SK, Kim CH: Radiological characterization of the high-sensitivity MOSFET dosimeter. *Korean J Med Phys* 15(4):215-219 (2004)
 7. Benevides L, Hintenlang D: Characterization of metal oxide semiconductor field effect transistor dosimeters for application in clinical mammography. *Med Phys* 33:514-520 (2006)
 8. Scalchi P, Francescon P, Rajaguru P: Characterization of a new MOSFET detector configuration for in vivo skin dosimetry. *Med Phys* 32:1571-1578 (2005)
 9. Ramaseshan R, Russel S, O'Brien P: Clinical dosimetry using MOSFETs. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 37: 959-964 (1997)
 10. Ramaseshan R, Kohli K, Zhang T, et al: Performance characteristics of a microMOSFET as an in vivo dosimeter in radiation therapy. *Phys Med Biol* 49:4031-4048 (2004)
 11. Quach K, Morales J, Butson M, et al: Measurement of radiotherapy x-ray skin dose on a chest wall phantom. *Med Phys* 27:1676-1680 (2001)
 12. Cho SJ, Kim WT, Ki YG, et al: In vivo dosimetry with MOSFET detector during radiotherapy. *Korean J Med Phys* 17(1):17-23 (2006)

Development of Phantom and Comparison Analysis for Performance Characteristics of MOSFET Dosimeter

Jin-Beom Chung*[†], Jeong-Woo Lee*[†], Yon-Lae Kim[†], Doo-Hyun Lee*[§], Kyoung-Sik Choi^{||},
Jae-Sung Kim[†], In-Ah Kim[†], Semie Hong[†], Tae-Suk Suh*

*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine The Catholic University of Korea,

[†]Department of Radiation Oncology, Seoul National University Bundang Hospital,

[‡]Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Konkuk University,

[§]Department of Radiation Oncology, National Cancer Center,

^{||}Department of Radiation Oncology, Ajou University Hospital

This study is to develop a phantom for MOSFET (Metal Oxide Semiconductors Field Effect Transistors) dosimetry and compare the dosimetric properties of standard MOSFET and microMOSFET with the phantom. In this study, the developed phantom have two shape: one is the shape of semi-sphere with 10 cm diameters and the other one is the flat slab of 30 cm×30 cm with 1 cm thickness. The slab phantom was used for calibration and characterization measurements of reproducibility, linearity and dose rate dependency. The semi-sphere phantom was used for angular and directional dependence on the types of MOSFETs. The measurements were conducted under 10×10 cm² fields at 100 cm SSD with 6 MV photon of Clinac (21EX, Varian, USA). For calibration and reproducibility, five standard MOSFETs and microMOSFETs were repeatedly irradiated by 200 cGy five times. The average calibration factor was a range of 1.09±0.01~1.12±0.02 mV/cGy for standard MOSFETs and 2.81±0.03~2.85±0.04 mV/cGy for microMOSFETs. The response of reproducibility in the two types of MOSFETs was found to be maximum 2% variation. Dose linearity was evaluated in the range of 5 to 600 cGy and showed good linear response with R² value of 0.997 and 0.999. The dose rate dependence of standard MOSFET and microMOSFET was within 1% for 200 cGy from 100 to 600 MU/min. For linearity, reproducibility and calibration factor, two types of MOSFETs showed similar results. On the other hand, the standard MOSFET and microMOSFET were found to be remarkable difference in angular and directional dependence. The measured angular dependence of standard MOSFET and microMOSFET was also found to be the variation of 13%, 10% and standard deviation of ±4.4%, ±2.1%. The directional dependence was found to be the variation of 5%, 2% and standard deviation of ±2.1%, ±1.5%. Therefore, dose verification of radiation therapy used multidirectional X-ray beam treatments allows for better the use of microMOSFET which has a reduced angular and directional dependence than that of standard MOSFET.

Key Words: MOSFET dosimeter, Dosimetric property, In-vivo dosimetry